

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PCT / IB 03 / 0 00 86

15 JAN 2003



REC'D 20 JAN 2003

WIPO

PCT

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

102 02 986.5

10 Reg

22 JUL 2004

Anmeldetag:

26. Januar 2002

Anmelder/Inhaber:

Philips Corporate Intellectual Property GmbH,  
Hamburg/DE

Bezeichnung:

Spulensystem für eine MR-Apparatur sowie MR-  
Apparatur mit einem solchen Spulensystem

IPC:

G 01 R, A 61 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. Juli 2002  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Ebert

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**BEST AVAILABLE COPY**

A 9161  
06/00  
EDV-L



25 01 00

PHDE020020

5

## BESCHREIBUNG

Spulensystem für eine MR-Apparatur sowie MR-Apparatur mit einem solchen Spulensystem.

## TECHNISCHES GEBIET

- 5 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Kernspinresonanz-Tomographie. Sie betrifft ein Spulensystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie betrifft weiterhin eine MR-Apparatur mit einem solchen Spulensystem.

Ein solches Spulensystem ist z.B. aus der EP-A1-0 304 126 bekannt.

10

## STAND DER TECHNIK

- Bildgebende Magnetresonanz(MR)-Verfahren (Magnetic Resonance Imaging MRI), welche die Wechselwirkung von Magnetfeldern mit Kernspins zur Erstellung von zweidimensionalen oder dreidimensionalen Bildern ausnutzen, haben insbesondere in
- 15 der medizinischen Diagnostik eine verbreitete Anwendung gefunden, weil sie bei der Darstellung von Weichteilstrukturen anderen bildgebenden Verfahren in vielen Bereichen überlegen sind, ohne ionisierende Strahlung auskommen und in der Regel nicht invasiv sind.

- 20 Bei den MR-Verfahren wird der zu untersuchende Körper in ein starkes homogenes Magnetfeld gebracht, dessen Richtung zugleich eine Achse (üblicherweise die z-Achse) des der Messung zugrundeliegenden Koordinatensystems definiert. Durch das Magnetfeld werden für die einzelnen Kernspins in Abhängigkeit von der Magnetfeldstärke unterschiedliche energetische Niveaus erzeugt, die durch Einstrahlung eines
- 25 elektromagnetischen Wechselfeldes definierter Frequenz (Larmor-Frequenz) angeregt werden können (Kernspinresonanz). Makroskopisch gesehen ergibt die Verteilung der einzelnen Kernspins eine Gesamtmagnetisierung, die durch einen eingestrahnten elektromagnetischen Puls entsprechender Frequenz (HF-Puls), bei dem das Magnet-

feld senkrecht zur z-Achse steht, auf einer spiralförmigen Bahn aus der Gleichgewichtslage ausgelenkt werden kann und dann eine Präzessionsbewegung um die z-Achse ausführt. Die Präzessionsbewegung beschreibt einen Kegelmantel, dessen Öffnungswinkel als Flipwinkel bezeichnet wird. Die Größe des Flipwinkels hängt von der Stärke und Dauer des eingestrahlten elektromagnetischen Pulses ab. Bei einem sogenannten 90°-Puls werden die Spins aus der z-Achse in die Transversalebene geklappt (Flipwinkel 90°).

Nach dem Ende des HF-Pulses relaxiert die Magnetisierung wieder in die ursprüngliche Gleichgewichtslage zurück, wobei sich mit einer ersten Zeitkonstanten  $T_1$  (Spin-Gitter-Relaxationszeit) die Magnetisierung in z-Richtung wieder aufbaut, und mit einer zweiten Zeitkonstanten  $T_2$  (Spin-Spin-Relaxationszeit) die Magnetisierung senkrecht zur z-Richtung abbaut. Die Änderung in der Magnetisierung kann mit einer Spule detektiert werden, die üblicherweise so orientiert ist, dass die Änderung der Magnetisierung senkrecht zur z-Achse (Transversalmagnetisierung, Zeitkonstante  $T_2$ ) gemessen wird. Mit dem Abbau der Transversalmagnetisierung verbunden ist nach Anlegung eines 90°-Pulses ein durch lokale Magnetfeldinhomogenitäten bewirkter Übergang der Kernspins von einem geordneten Zustand gleicher Phase in einen Gleichgewichtszustand, bei dem alle Phasenwinkel gleich verteilt sind (Dephasierung). Die Dephasierung kann durch einen Refokussierungspuls (180°-Puls) kompensiert werden. Hierdurch ergibt sich in der Detektionsspule ein Echosignal (Spinecho).

Um im Körper eine Ortsauflösung zu erhalten, werden dem homogenen Magnetfeld mittels einer drei Gradientenspulensysteme umfassenden Gradientenspulenordnung lineare Gradientenfelder in den drei Hauptachsen überlagert, die zu einer linearen Ortsabhängigkeit der Kerspinresonanzfrequenz führen. Das in der Detektionsspule aufgenommene Signal enthält dann Anteile verschiedener Frequenzen, die nach einer Fourier-Transformation von der Zeit- auf die Frequenzachse verschiedenen Orten im Körper zugeordnet werden können.

Das Spulensystem einer MR-Apparatur umfasst neben einer Spulenanordnung zur Erzeugung eines homogenen Gleichfeldes Spulenanordnungen zur Erzeugung der Gradientenfelder sowie eine Spulenanordnung zur Erzeugung eines (gepulsten) HF-Feldes. Ein beispielhaftes Spulensystem ist in Fig. 9 und 10 der US-A-6,154,110 dargestellt.

5 Innerhalb einer supraleitenden Hauptspule ist coaxial eine Gradientenspulen-anordnung zur Erzeugung der Gradientenfelder untergebracht, welche aus einer (äußeren) Abschirmspule und einer (inneren) Teilspule besteht. Von einem vergleichbaren bekannten Spulensystem geht auch die vorliegende Erfindung aus, wie dies aus Fig. 2 zu erkennen ist: Das bekannte Spulensystem 210 ist entlang einer Achse 218

10 orientiert und umgibt einen Untersuchungsraum 217, in den ein zu untersuchender Patient 215 mittels einer in Achsenrichtung verfahrbaren, an der Unterseite des Untersuchungsraumes 217 platzierten Patiententisch 216 eingeschoben werden kann.

Das den Untersuchungsraum 217 umschließende Spulensystem 210 umfasst (von innen nach außen gesehen) eine HF-Spule 219, eine aktiv geschirmte Gradientenspulen-anordnung, bestehend aus einer inneren Teilspule (213, in der Fig. 2 im Unterschied zu der erfindungsgemäßen inneren Teilspule 213' punktiert gezeichnet) und einer aktiv schirmenden Spule oder Abschirmung (212), und einen Kryostaten 211, in welchem die Spule zur Erzeugung des homogenen statischen Magnetfeldes untergebracht ist. Die Gradientenspulen-anordnung 213, 212 wird von einem

20 Gradientenverstärker 220 angesteuert.

Derartige Gradientenverstärker sind heutzutage eine der teuersten Komponenten einer MR-Apparatur. Es ist deshalb wünschenswert, in der MR-Apparatur Gradientenspulen einzusetzen, die einen möglichst geringen Energiebedarf aufweisen. In der eingangs genannten EP-A1-0 304 126 ist zur Verringerung des Energieeinsatzes für die Gradientenspulen vorgeschlagen worden, spezielle Kompensationsspulen einzusetzen, welche die unerwünschten Streufelder und Wirbelströme der Gradientenspulen schwächen bzw. unterdrücken.

Weiterhin wird in der EP-A1-0 307 981 vorgeschlagen, zur Verringerung der für die Gradientenspule und die HF-Spule benötigten Energie ein kombiniertes HF- und Gradientenspulensystem einzusetzen, welches es ermöglicht, den freien inneren Durchmesser des Spulensystems zu verkleinern.

5

In beiden Fällen ist die Anpassung des Spulensystems an einen verringerten Energieverbrauch für die Gradientenspulen vergleichsweise aufwendig und kompliziert.

#### DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

- 10 Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Spulensystem sowie eine MR-Apparatur mit einem solchen Spulensystem anzugeben, welche sich auf einfache Weise durch eine hinsichtlich des Energieverbrauchs optimierte Geometrie auszeichnen.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 6 gelöst.

15

Die Erfindung geht davon aus, dass es für die im Gradientenfeld vorhandene Feldenergie günstig ist, so viel Volumen wie möglich zwischen der inneren Teilschule und ihrer aktiven Abschirmung zu haben, ohne gleichzeitig das Volumen für die RF-Schule zu verkleinern und den Untersuchungsraum für zu untersuchende Patienten zu verringern. Der Kern der Erfindung besteht nun darin, mit der inneren Teilschule den ungenutzten Raum außerhalb der innenliegenden HF-Schule, innerhalb der Abdeckung auszunutzen.

20

- Hierzu wird ein Spulensystem der eingangs genannten Art vorgeschlagen, das erfindungsgemäß so ausgestaltet ist, dass zur Verringerung der für das Gradientenspulensystem benötigten Energie das von der inneren Teilschule eingenommene Volumen in den in axialer Richtung über die HF-Schule hinausgehenden Bereichen zur Achse hin erweitert wird.

25  
30

Die Ausgestaltung gemäß Anspruch 2 hat den Vorteil, dass der unterhalb der Tischplatte des Patiententisches zur Verfügung stehende Raum für die Teilspule optimal genutzt wird.

- 5 Eine andere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 3 zeichnet sich dadurch aus, dass für die Teilspule mehr Volumen zur Verfügung gestellt wird, ohne dass die Offenheit des Untersuchungsraumes zu beiden Seiten beeinträchtigt wird.

- 10 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.  
Erfindungsgemäß wird das Spulensystem nach der Erfindung in einer bilderzeugenden MR-Apparatur angewendet.

- 15 Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.  
Eine MR-Apparatur mit einem Spulensystem zur Erzeugung eines homogenen stationären Magnetfeldes, dessen Stärke die Larmorfrequenz definiert, und zur Erzeugung von HF-Pulsen und zum Empfangen von den einem Untersuchungsobjekt erzeugten MR-Signalen ist erfindungsgemäß so ausgebildet, dass ein Spulensystem für eine nach  
20 der Methode der Kernspinresonanz bzw. Magnetresonanz arbeitende Apparatur, welches Spulensysteme einen sich entlang einer Achse erstreckenden, für die Aufnahme eines Patienten vorgesehenen Untersuchungsraum umgibt und eine innenliegende HF-Spule, eine die HF-Spule außen umgebende und die HF-Spule in axialer Richtung an beiden Seiten überragende, innere Teilspule und eine die innere Teilspule außen  
25 umgebende aktive Abschirmung umfasst, so vorgesehen ist, dass zur Verringerung der für das Gradientenspulensystem benötigten Energie das von der inneren Teilspule eingenommene Volumen in den in axialer Richtung über die HF-Spule hinausgehenden Bereichen zur Achse hin erweitert ist.

## KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUR

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammen-  
5 hang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 ein Prinzipschaltbild einer MR-Apparatur, in welcher das erfindungsgemäße Spulensystem Anwendung finden kann; und

10 Fig. 2 in einer einzigen schematisierten Längsschnittdarstellung ein Spulensystem nach dem Stand der Technik (punktirt gezeichnete innere Teilspule) sowie ein Ausführungsbeispiel eines Spulensystems nach der Erfindung (durchgezogen gezeichnete innere Teilspule).

## 15 WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

Eine für den Einsatz des erfindungsgemäßen Spulensystems geeignete MR-Apparatur ist im Prinzipschaltbild in Fig. 1 dargestellt. Sie umfasst eine Steuereinheit 17, die einen Gradienten-Wellenform-Generator 20 ansteuert, an dessen Ausgängen jeweils  
20 ein erster, ein zweiter und ein dritter Gradientenverstärker 21, 22, 23 angeschlossen ist. Diese Verstärker erzeugen jeweils den Strom für eine erste, zweite bzw. dritte Gradientenspule 3, 5, 7. Die Verstärkungsfaktoren dieser Verstärker sind durch die Steuereinheit 17 über Leitungen 32 unabhängig voneinander einstellbar, so dass die Gradientenspulen 3, 5, 7 die Gradientfelder in den x-, y- und z-Richtungen erzeugen  
25 und eine Schichtselektion in den entsprechenden drei Raumrichtungen in dem untersuchten Bereich vorgenommen werden kann.

Weiterhin wird durch die Steuereinheit 17 ein HF-Generator 18 angesteuert, um zur MR-Bilderzeugung die Frequenz der HF-Impulse auf die von den Gradientenfeldern  
30 abhängigen Larmor-Frequenzen. Die HF-Impulse werden einem Verstärker 19 zugeführt, dessen Verstärkung durch die Steuereinheit 17 gesteuert wird, und gelangen anschließend zu einer HF-Sendespule 11.

Die in einer Hochfrequenz-Empfangsspule 12 durch die Relaxation der angeregten Magnetisierungszustände induzierten MR-Signale werden in einem Quadratur-Demodulator 13 durch Mischung mit zwei um  $90^\circ$  gegeneinander versetzten Trägerschwingungen (mit einer durch die lokale Stärke der stationären Magnetfelder bestimmten Larmor- bzw. MR-Frequenz) eines Oszillators 130 demoduliert, so dass zwei Signale entstehen, die als Realteil und als Imaginärteil eines komplexen Signals aufgefasst werden können. Diese Signale werden einem Analog-Digitalwandler 14 zugeführt. Mit einer Bildverarbeitungseinheit 16 werden schließlich die MR-Bilder in bekannter Weise rekonstruiert und auf einem Monitor 15 wiedergegeben.

Bei dem in der Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel eines in der MR-Apparatur nach Fig. 1 einsetzbaren Spulensystems nach der Erfindung wird die punktierte gezeichnete innere Teilspele 213 der aus innerer Teilspele 213 und aktiver Abschirmung 212 bestehenden Gradientenspulenordnung nach dem Stand der Technik durch die durchgezogene gezeichnete innere Teilspele 213' ersetzt. Die neuartige innere Teilspele 213' nutzt dabei bisher ungenutzte Volumina. Diese ungenutzten Volumina befinden sich unterhalb der Patiententisches 216 und oberhalb einer das Spulensystem 210 vom Untersuchungsraum 217 trennenden Abdeckung 214 in den in axialer Richtung außerhalb der HF-Spele 219 liegenden Bereichen. In diesen Bereichen wird die innere Begrenzung der inneren Teilspele 213' zur Achse 218 hin verschoben, so dass sie auf der Unterseite parallel zur Achse 218 und auf der Oberseite parallel zur Abdeckung 214 verläuft. Das Spulensystem 210 und insbesondere die innere Teilspele 213' sind dabei symmetrisch zu einer Mittelebene 221, wodurch sich die Feldverhältnisse vereinfachen. Dabei entspricht die Wirkungsweise und Konfiguration der HF-Spele 219 in Fig. 2 der HF-Spele 11 in Fig. 1 und die Komponenten 213' in Verbindung mit der Abschirmung 212 in Fig. 2 den Gradientenspulen 3, 5 oder 7 in Fig. 1.

Der Abstand der inneren Teilspele 213' zur Achse 218 ist in den in axialer Richtung über die HF-Spele 219 hinausgehenden Bereichen größer oder gleich dem Abstand

der HF-Spule 219 zur Achse 218, so dass der für den Patienten 215 zur Verfügung stehende Untersuchungsraum 217 ausschließlich durch die HF-Spule bestimmt wird und sich durch die neuartige innere Teilspeule 213' nicht verkleinert.

- 5 Die Windungsverteilung des Gradientenspulensystems / der Gradientenspulenordnung kann nach einem numerischen Verfahren (S. Pissanetzky Meas. Sci. Technol. 3 (1992) p. 667ff) berechnet werden. Gegenüber einem herkömmlichen Standardsystem ergibt sich damit eine Reduktion der Spulenenergie um etwa 35%.
- 10 Insgesamt ergibt sich mit der Erfindung ein Spulensystem, welches sich durch folgende charakteristischen Merkmale und Vorteile auszeichnet:
  - Geringerer Energieverbrauch, der die Kosten für die Gradientenverstärker reduziert.
  - 15 • Mit einem unveränderten Gradientenverstärker kann ein höherer Gradient erzeugt werden.

Der für den Patienten zur Verfügung stehende Untersuchungsraum wird nicht verkleinert.

## BEZUGSZEICHENLISTE

	3,5,7	Gradientenspule
	11	Hochfrequenz-Sendespule
	12	Hochfrequenz-Empfangsspule
5	13	Quadratur-Demodulator
	14	Analog-Digitalwandler
	15	Monitor
	16	Bildverarbeitungseinheit
	17	Steuereinheit
10	18	HF-Generator
	19	Verstärker
	20	Gradienten-Wellenform-Generator
	21,22,23	Gradientenverstärker
	210	Spulensystem
15	211	Kryostat
	212	aktive Abschirmung
	213,213'	innere Teilspule
	214	Abdeckung
	215	Patient
20	216	Patiententisch
	217	Untersuchungsraum
	218	z-Achse (Richtung des stat. Magnetfeldes)
	219	HF-Spule
	220	Gradientenverstärker
25	221	Symmetrieebene

PATENTANSPRÜCHE

1. Spulensystem (210) für eine nach der Methode der Kernspinresonanz bzw. Magnetresonanz (MR) arbeitende Apparatur, welches Spulensystem (210) einen sich entlang einer Achse (218) erstreckenden, für die Aufnahme eines Patienten (215) vorgesehenen Untersuchungsraum (217) umgibt und eine innenliegende HF-Spule (219), eine
- 5 die HF-Spule (219) außen umgebende und die HF-Spule (219) in axialer Richtung an beiden Seiten überragende, innere Teilsple (213') und eine die innere Teilsple (213') außen umgebende und zusammen mit der inneren Teilsple (213') eine Gradientenspulenordnung bildende aktive Abschirmung (212) umfasst,
- dadurch gekennzeichnet,
- 10 dass zur Verringerung der für das Gradientenspulensystem (213', 212) benötigten Energie das zwischen der inneren Teilsple (213') und der aktiven Abschirmung (212) befindliche Volumen dadurch vergrößert ist, daß der zur Achse (218) senkrechte Querschnitt der inneren Teilsple (213') in Bereichen beiderseits der HF-Spule (219) kleiner ist, als im Bereich der HF-Spule.
- 15
2. Spulensystem nach Anspruch 1,
- dadurch gekennzeichnet,
- dass zur Einführung eines Patienten (215) in den Untersuchungsraum (217) an der Unterseite des Untersuchungsraumes (217) eine entlang der Achse (218) verschieb-
- 20 bare Patiententisch (216) vorgesehen ist, und dass die innere Begrenzung der inneren Teilsple (213') in den in axialer Richtung über die HF-Spule (219) hinausgehenden Bereichen vorzugsweise parallel zur Achse (218) verläuft.

3. Spulensystem nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Spulensystem auf der Oberseite des Untersuchungsraumes (217) durch eine Abdeckung (214) vom Untersuchungsraum (217) getrennt ist, die sich in den in axialer Richtung über die HF-Spule (219) hinausgehenden Bereichen nach außen hin öffnet, und dass die innere Begrenzung der inneren Teilschule (213') in den in axialer Richtung über die HF-Spule (219) hinausgehenden Bereichen parallel zur Abdeckung verläuft.

10 4. Spulensystem nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Abstand der inneren Teilschule (213') zur Achse (218) in den in axialer Richtung über die HF-Spule (219) hinausgehenden Bereichen größer oder gleich dem Abstand der HF-Spule (219) zur Achse (218) ist.

15 5. Spulensystem nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass die innere Teilschule (213') symmetrisch zu einer senkrecht zur Achse (218) stehenden Mittelebene (221) ist.

20 6. MR-Apparatur mit einem Spulensystem (210) zur Erzeugung eines homogenen stationären Magnetfeldes, dessen Stärke die Larmofrequenz definiert, und zur Erzeugung von HF-Pulsen und zum Empfangen von in einem Untersuchungsobjekt (215) erzeugten MR-Signalen,

25 dadurch gekennzeichnet,

dass das Spulensystem (210) gemäss Anspruch 1 ausgebildet ist.

## ZUSAMMENFASSUNG

Spulensystem für eine MR-Apparatur sowie MR-Apparatur mit einem solchen Spulensystem

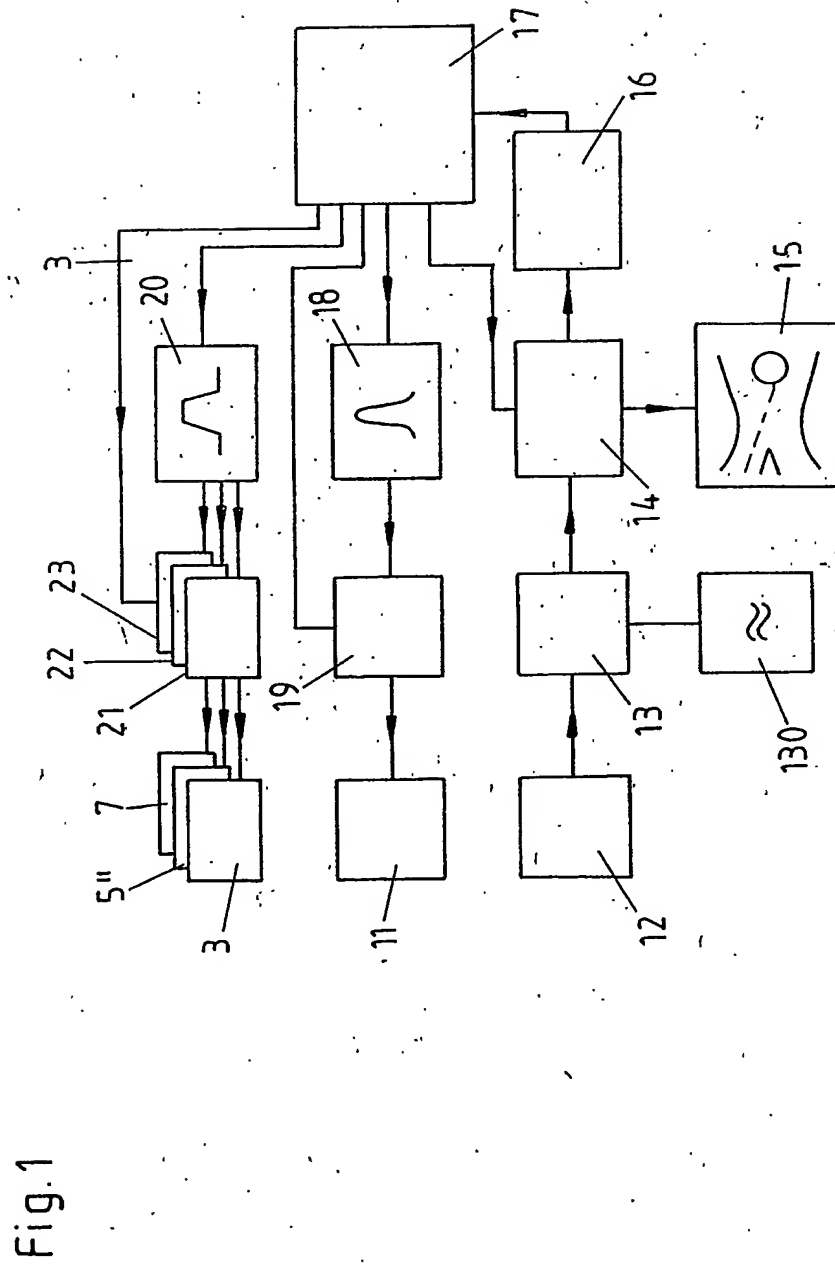
Ein Spulensystem (210) für eine nach der Methode der Kernspinresonanz bzw. Magnetresonanz (MR) arbeitende Apparatur umgibt einen sich entlang einer Achse (218) erstreckenden, für die Aufnahme eines Patienten (215) vorgesehenen Untersuchungsraum (217) umgibt. Es umfasst eine innenliegende HF-Spule (219), eine die HF-Spule (219) außen umgebende und die HF-Spule (219) in axialer Richtung an beiden Seiten überragende, innere Teilschule (213') und eine die innere Teilschule (213') außen umgebende und zusammen mit der inneren Teilschule (213') eine Gradientenspulenordnung bildende aktive Abschirmung (212).

Bei einem solchen Spulensystem wird bei vorgegebenem Gradienten die für die Gradientenspulenordnung (213', 212) benötigte Energie dadurch verringert, dass das von der inneren Teilschule (213') eingenommene Volumen in den in axialer Richtung über die HF-Spule (219) hinausgehenden Bereichen zur Achse (218) hin erweitert ist. Wesentlich ist dabei, dass in dem Volumen, was von der Gradientenspulenordnung (213', 212) umschlossen wird, im Allgemeinen drei Gradientenspulen untergebracht werden. Diese geschichtete Anordnung erzeugt üblicherweise drei zueinander senkrecht stehende Gradientenfelder. Es ist allerdings nicht zwingend, sie so zu berechnen, dass sie aufeinander senkrecht stehen. Alle drei Spulenordnungen benötigen für sich einen geringeren Energieanteil im Vergleich zum herkömmlichen Fall.

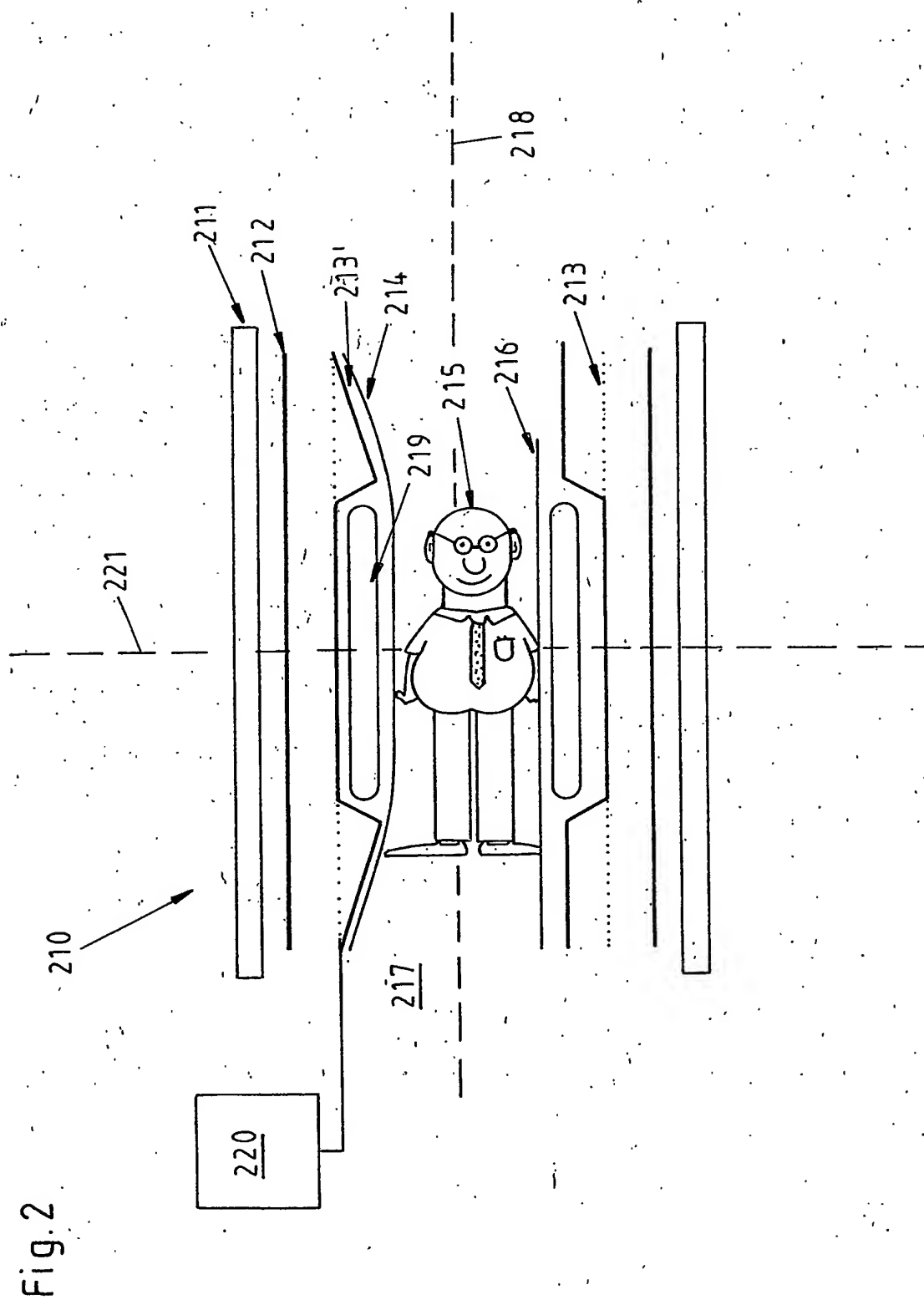
Fig. 2



1/2



21.2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**